



TITLE:

U(4) Symmetry in Strong Interactions and Relating Mass Formula(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Hama, Mitsuru

CITATION:

Hama, Mitsuru. U(4) Symmetry in Strong Interactions and Relating Mass Formula. 京都大学, 1965, 理学博士

ISSUE DATE:

1965-03-23

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/211518>

RIGHT:

氏 名	浜 満 はま みつる
学 位 の 種 類	理 学 博 士
学 位 記 番 号	理 博 第 88 号
学 位 授 与 の 日 付	昭 和 40 年 3 月 23 日
学 位 授 与 の 要 件	学 位 規 則 第 5 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	理 学 研 究 科 物 理 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	U(4) Symmetry in Strong Interactions and Relating Mass Formula (強い相互作用における, 四次元ユニタリー群による対称性とそれに 関する質量公式) (主 査) 論 文 調 査 委 員 教 授 湯 川 秀 樹 教 授 小 林 稔 教 授 林 忠 四 郎

論 文 内 容 の 要 旨

主論文は強い相互作用を持つ素粒子の対称性による分類を取り扱ったものである。素粒子をある群の既約表現の基底として決められるものと考え、いろいろな素粒子の性質の間の関連を採る試みは、最近多くの人によって試みられている。特に U(3) あるいは SU(3) の対称性を用いた坂田, Gell-Mann 等の試みは興味ある種々の結果を得ているが、いずれも基本表現に対する物理的な意味づけが困難である欠点をもっている。この難点を克服するために、いろいろな立場からの試みがなされているが、ここでは坂田の形式を拡張した U(4) の対称性を用いる立場がとられている。

三次元ユニタリー群を用いた従来の理論では、現実の p, n, Λ の3種のフェルミ粒子、又はそれに類似する3種の基本粒子（以下では一般的に p_0, n_0, Λ_0 と示す）が SU(3) の既約表現の一つに属するものと考えられているが、U(4) の対称性を用いる場合には、 Λ_0' を加えた4種の基本的なフェルミ粒子を考え、さらに三次元の場合の量子数（アイソスピン I_3 , 奇妙さ S）の他に、新しい加法的な量子数（Z）が導入されることになる。この4種の基本粒子 ψ_μ ($\mu=1, 2, 3, 4$) の量子数に対しては、最も簡明で、坂田の分類の拡張として、次の表のような指定の仕方が採用されている。この形式では meson は $\bar{\psi}\psi$, $\bar{\psi}\bar{\psi}\psi\psi$ ……, baryon は $\bar{\psi}\psi\psi$, …… 等の configuration をもつことになる。ただし、この限りでは各々の既約表現内の粒子の質量は縮退したままで、現実の粒子の質量スペクトルに対応していない。

	I	I_3	S	Z
$\psi_1 (P_0)$	1/2	1/2	0	0
$\psi_2 (n_0)$	1/2	-1/2	0	0
$\psi_3 (\Lambda_0)$	0	0	-1	0
$\psi_4 (\Lambda_0')$	0	0	-1	-1

そこで次に対称性の破れをひきおこすものとして、 $\bar{\Lambda}_0' \Lambda_0'$ 型の相互作用と、 $\bar{\Lambda}_0 \Lambda_0$ 型の相互作用が2段階に導入されている。

これらの相互作用（tensor operator としては、前者は T_4^4 , 後者は T_3^3 の mixed tensor として変換する）による質量公式は SU(3) の理論を用いた大久保の手法を用いて求められて、

$$M=a+b_1S+C_1(I^2-I_1^2)+b_2Z+C_2(M_2-Z^2)$$

となる。ただし、 M_2 は $U(3)$ の既約表現を決定する一つの量で、 a, b_1, b_2, C_1, C_2 は $U(4)$ の既約表現だけで定まる定数である。主論文の後半においては、先に求められた meson, barzon に対する既約表現の性質と、質量公式を用いて、現実の素粒子との対応が論じられている。その結果、この理論が従来の $SU(3)$ の理論の成功した諸結果を含むと共に、新しい量子数 Z が準保存量になる場合をも仮定すれば、最近見出された共鳴状態の分類に有効であること、この分類法に対して直接的な実験的反証は見出されていないことが示されている。ただし、この種の分類法による、既知の共鳴状態のすべてについての体系的な分析はなされていない。

参考論文その一は相対論的な不安定粒子の一般理論形式を取り扱ったものであるが、従来のこの種の理論で取り扱われなかった不安定粒子の Field operator を実際に求めることが試みられている。そして、Lee の模型についての分析の結果を拡張して、不安定粒子に固有なスペクトル函数を考慮すれば、安定粒子の場合と殆ど同じやり方で field operator が構成できることが示されている。

参考論文その二は、弱い相互作用による過程におけるアイソスピンと奇妙さについての法則 ($|ΔI|=1/2$, $ΔS=±ΔQ$) を保証する理論を坂田模型を拡張して構成する試みである。 $ΔS/Q=±1ΔI$ の weak current をつくるために、octet gauge boson の導入が、 $|ΔI|=1/2$ を保証するために weak boson の導入が提案されている。

論文審査の結果の要旨

素粒子の強い相互作用の取り扱いについて、場の量子論の範囲内で十分信頼しうる解析的方法が得られていないことは、素粒子の統一理論をつくる道程での大きな困難のひとつとなっていた。ところが一方、強い相互作用に関与する素粒子として、核子、パイ中間子以外に数多くの素粒子（共鳴状態を含めて）が発見され、この種の過程を通じての保存的、準保存的な量子数（核子数 N 、アイソスピン I 、奇妙さ S など）が導入されるにおよんで、これら重粒子族 (baryon)、中間子族 (meson) に対する現象論的な分類が一応の成功を収めた。その後、素粒子の統一理論への試みとして、素粒子の内部構造やそれを構成する新しい力学法則を追求する方向と並んで、各々の素粒子をある種の変換群の既約表現に対応しているものと考え、変換群によって表現される対称性の結果として、素粒子群全体を支配する規則性を説明しようとする試みが、最近ひじょうに盛んになっている。

特に Gell-Mann 等の 3 次元ユニタリー群を用いた理論は、 p, n, Λ を基本粒子とする坂田模型を抽象化して群 $U(3)$ の代りに、群 $SU(3)$ から出発することによって、種々の octet だけでなく、decuplet の存在することの説明に成功すると共に、大久保の質量公式の導出などの注目すべき結果を収めている。しかし、この種の理論はまだ統一理論と言えるような一貫した体系でないばかりでなく、その基本になる unitary triplet の物理的な意味づけが困難である。この点についての修正・拡張の試みが、その後いろいろと試みられているが、著者は主論文において、4 次元ユニタリー群 $U(4)$ に基づくこの種の理論を考察している。

rank が 4 の $U(4)$ を用いる理論における 4 種の基本スピノール粒子 $\psi_\mu (\mu=1, 2, 3, 4)$ は $SU(3)$ の場合になかった新しい量子数 (Z) の付加によって指定されることになる。著者は ψ_1, ψ_2, ψ_3 を

$Z=0$ で、それ以外は坂田模型の p, n, Λ と同じ性質をもつものとし、 $\psi_i(\Lambda')$ を $S=-1, Z=-1$, をもつ iso-singlet にとった場合を考察している。これらの基本粒子から構成される meson, baryon の最低の configuration としては $\bar{\psi}\psi, \dots \bar{\psi}\psi\psi \dots$ 等が考えられ、 $U(4)$ の既約表現として 15-, 1-次元 (meson), 36-, 20-, 4-次元 (baryon) のものが求められている。さらに、現実の素粒子の質量スペクトルに対応する質量公式を導くために、対称性の破れをひきおこす相互作用として $\bar{\Lambda}'\Lambda', \bar{\Lambda}\Lambda$ という型のもものを2段階に導入して、大久保の公式を拡張したものを導いている。主論文の後半においては、これらの結果と、実験的に知られた素粒子との対応づけが試みられている。

著者の理論は、 $SU(3)$ についての坂田, Gell Mann, 大久保等の理論の拡張に相当しているが、 $U(4)$ の既約表現のすべてを求めることは極めて面倒な問題なので、Physical Particle として $N=0, N=1$ をもつ表現だけをえらび出すことによってこの点を巧みに処理し、さらに簡単な導き方でこれらの $U(4)$ の表現中に含まれる $U(3)$ の既約表現に着目して multiplet の分類, 指定を行なっている。この分析によって、octet 等が再現されるだけでなく、さらに $\bar{\Lambda}'\Lambda'$ による対称性の破れの第一段階では大久保の質量公式がそのまま成立すると共に、現実の粒子との対応が見透しよくなっている。

後半の分析の示すように、この理論による meson, baryon の分類は、これまでに知られている結果の大部分を再現するばかりでなく、新しい量子数 Z を準保存的な量とすることによって、これまでの現象論的な分類では説明が困難だった過程を説明する可能性があるという注目すべき結果を得られている。ただし、この理論を積極的に支持する実験的な根拠として十分なものは未だ明らかではないが、一般的に言って $U(4)$ の一つの既約表現はいくつかの $U(3)$ の multiplet を含むから、それらの間の質量の関係を求めることができる筈である。例えば baryon の質量と baryon の共鳴単位の質量との間の関係をこの種の理論から求めうる可能性がある。従ってこの種の試みは、十分意味あるものと評価できる。

著者は参考論文において場の理論の基礎形式や弱い相互作用についての共同研究を行なっているが、主論文と相俟って、これらの研究は著者が素粒子の分野において十分な基礎知識を有すると共に、その応用においても十分な力柄を持つことを示すものと考えられる。

以上の点から見て、本論文は理学博士の学位論文として価値あるものと認められる。